

З. М. Воронова

ГБПОУ КК «Краснодарский технический колледж» (г. Краснодар, Россия)

В. С. Копырин

НЧОУ ВО «Технический университет УГМК» (г. Верхняя Пышма, Россия)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ИНВЕРТОРНОГО ТОРМОЖЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (ПЧ–АД) с автономными инверторами напряжения (АИН) получили широкое применение для различных механизмов [1, 2]. В большинстве систем ПЧ–АД с АИН реализуется инверторное торможение (ИТ) асинхронных двигателей (рис. 1). Поэтому для реализации эффективных режимов ИТ необходим комплексный подход к обоснованию целесообразных параметров как ПЧ так и АД. Следовательно, при разработке и проектировании специальных серий частотно-регулируемых АД необходимо учитывать особенности режима инверторного торможения [3–6]. Для этого требуется обоснование и расчёт основных параметров системы ПЧ–АД с АИН, при которых переходный процесс инверторного торможения удовлетворяет заданному критерию оптимальности [2, 4, 7].

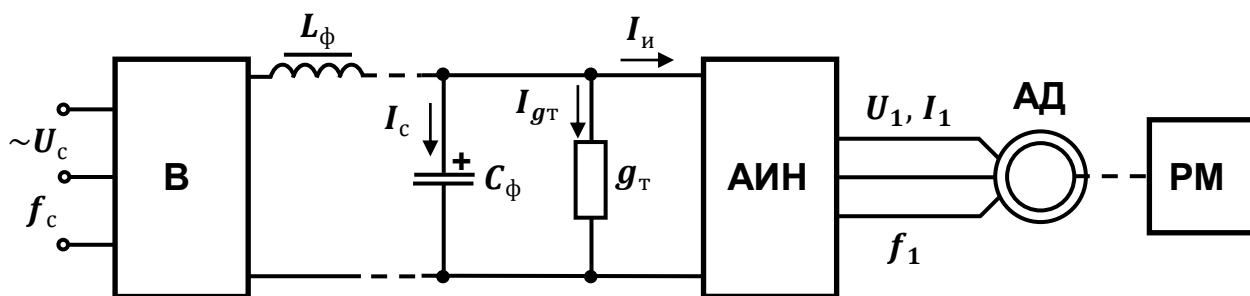


Рис. 1. Схема системы ПЧ–АД с АИН при инверторном торможении асинхронного двигателя

При частотном управлении режим инверторного торможения АД, как и двигательный, характеризуется оптимальными законами. Каждый из оптимальных законов частотно-регулируемого АД предусматривает реализацию экстремального значения своего критерия оптимальности [7]. Постановку задачи оптимизации параметров системы ПЧ–АД с АИН при переходных процессах инверторного торможения АД можно представить в общем виде. Возможные критерии оптимальности обозначим следующим вектором [8]

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n\},$$

где $y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n$ – показатели переходного процесса, каждый из которых может быть критерием оптимальности режима ИТ АД.

При переходных процессах ИТ к критериям оптимальности следует отнести: потери энергии в АД ($y_1 = W_{\text{АД}}$); максимальные значения тока статора ($y_2 = I_{1\text{max}}$) и напряжения на статоре ($y_3 = U_{1\text{max}}$); максимальный тормозной момент двигателя

($y_4 = M_{\text{тmax}}$); интенсивность (время) торможения ($y_5 = t_{\text{т}}$); потери энергии в тормозной проводимости $g_{\text{т}}$ ($y_6 = W_{g_{\text{т}}}$) и другие.

При решении оптимизационных задач ИТ экстремизируется один из перечисленных показателей y_i , $i = \overline{1, n}$ режима работы, например, y_k ($y_k \in Y$).

$$y_k = y_1 \vee y_2 \vee \dots \vee y_i \vee \dots \vee y_n \rightarrow \text{extremum} \quad k = \overline{1, n}$$

$$y_k = W_{\text{АД}} \vee I_{1\text{max}} \vee U_{1\text{max}} \vee t_{\text{т}} \vee W_{g_{\text{т}}} \vee \dots$$

Остальные режимные параметры y_i ограничиваются допустимым предельным значением $y_{i\text{max}}$ или $y_{i\text{min}}$, то есть

$$y_i \leq y_{i\text{max}}$$

или

$$i = \overline{1, n}; \quad i = k.$$

$$y_i \geq y_{i\text{min}}$$

Показатели переходного процесса инверторного торможения АД зависят от параметров АД, АИН и механизма РМ

$$y_i = f(X, Q, Z), \quad i = \overline{1, n},$$

где $X = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_{\ell}\} = \{R_1, X_1, R_2, X_2, R_m, X_m\}$ – вектор параметров АД, которые при оптимизации режима инверторного торможения варьируются в определенном диапазоне $x_{j\text{min}} \leq x_j \leq x_{j\text{max}}, \quad j = \overline{1, \ell}$;

$Q = \{g_{\text{т}}, C_1, a\}$ – вектор параметров АИН (C_1 – ёмкость фильтра на входе АИН, приведенная к фазе статора АД; a – темп снижения угловой выходной частоты f_1 АИН), которые могут варьироваться в соответствии с требованиями к надёжности, эффективности и интенсивности тормозного режима;

$Z = \{M_{\text{ст}}, J\}$ – вектор параметров ($M_{\text{ст}}$ – момент статического сопротивления; J – момент инерции) механизма РМ, которые при торможении неизменны, изменяются по определенному закону или носят случайный характер.

Оптимизация переходных процессов инверторного торможения АД может быть решена только при определенном сочетании приведенных выше векторов параметров АД, АИН и механизма. Их возможное сочетание обуславливает наличие или отсутствие инверторного возбуждения АД, которое указывает на возможность реализации инверторного торможения. Следовательно, для решения задачи оптимизации инверторного торможения АД необходимо предварительно определить границу области надёжного инверторного возбуждения (ИБ) асинхронного двигателя [3].

Выполненные исследования влияния параметров системы АИН–АД и механизма на переходные процессы ИТ показали, что режим ИБ в большей степени зависит от величины активных сопротивлений обмоток статора и ротора, тормозной проводимости и ёмкости фильтра [3, 4, 6]. Остальные параметры системы АИН–АД в заданном диапазоне их изменения не приводят к срыву самовозбуждения АД и к прекращению ИТ.

На первом этапе исследования выбираются параметры АД R_1 и R_2 , которые варьируются в обоснованном диапазоне [4] от 0,6 до 1,4 номинальных значений при

неизменных остальных параметрах АД, равных номинальным по величине значениям.

На втором этапе задаются в качестве изменяемых параметров при поиске границы области ИТ тормозная проводимость g_T и ёмкость фильтра C_1 . При этом величины M_{CT} , J , и a задаются в тех же диапазонах, которые принимаются при исследовании переходных процессов.

На третьем этапе производится расчет переходных процессов ИТ при дискретном варьировании R_1 и R_2 , включая их минимальные и максимальные граничные значения. Также производится оценка качества динамических режимов с учетом надёжного ИТ. Расчет и оценка показателей переходного процесса АД производится до тех пор, пока для заданных R_1 , R_2 и C_1 не определялась g_T , при которой не выполнялось условие надёжного ИВ АД.

На четвёртом этапе определяются граничные значения надёжного ИТ двигателя для остальных параметров АИН и механизма по аналогии с расчетами, выполняемыми на третьем этапе.

Алгоритм расчета оптимальных переходных процессов соответствует математической модели АД в режиме ИТ, учитывающей насыщение главной магнитной цепи двигателя, и приведённой выше методике определения границы надёжного ИВ электродвигателя.

Список использованных источников

1. Сандлер А.С., Сарбатов В.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. – М.: Энергия, 1974.
2. Загорский А.Е. Электродвигатели переменной частоты. – М.: Энергия, 1975.
3. Копырин В.С., Лихошерст В.И., Соколов М.М. Тормозные режимы системы преобразователь частоты – двигатель. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Воронова З.М. Разработка асинхронных двигателей с учетом переходных процессов инверторного торможения: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М.: МЭИ, 1988.
5. Асинхронный частотно-управляемый отраслевой электропривод с эффективным инверторным торможением / В.С. Копырин, А.А. Ткачук, З.М. Воронова и др. // Промышленная энергетика, 1999. – № 9.
6. Копырин В.С., Копылов И.П., Воронова З.М. Динамические энергетические показатели асинхронных двигателей при инверторном торможении // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии: сб. докл. 3-й междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: УрФУ, 2013.
7. Поляков В.Н., Шрейнер Р.Т. Экстремальное управление электрическими двигателями. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2006.
8. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики. – М.: Энергоатомиздат, 1987.